

# Automatisierte Produktionstechnologien für Leichtbaustrukturen aus Faser-Metall-Laminaten im Flugzeugrumpf

Deutscher Luft- und Raumfahrtkongress 2017  
München, 6. September 2017

H. Ucan, H. Apmann, G. Graßl, C. Krombholz, K. Fortkamp, D. Nieberl, F. Schmick,  
C. Nguyen, D. Akin



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie



**AIRBUS**



Wissen für Morgen



# Kurzüberblick

- **Einleitung**
  - Stand der Technik in der aktuellen Serienfertigung
  - Automatisierte und qualitätsgesicherte Fertigungsprozesse
- **Baseline Konzepte**
  - Vorstellung ausgewählter Arbeiten
  - Demonstratorbau und Ergebnisse
- **Opportunity-Konzepte**
  - Vorstellung ausgewählter Arbeiten
  - Demonstratorbau und Ergebnisse
- **Zusammenfassung der Ergebnisse**
- **Ausblick**

# Einleitung

## Einsatz von FML im Flugzeugbau

- Großflächiger Einsatz von FML im Großraumflugzeug A380 von Airbus
  - 22 FML-Panele werden in einem manuell gepägten Prozess nach den Design und Manufacturing Principles von Airbus gefertigt
    - 17 FML-Panele fertigt FOKKER in Dordrecht (NL)
    - 5 FML-Panele fertigt Premium Aerotech am Standort Nordenham (D)
- Weitere Einsatzgebiete: Klammerlaschen (*engl. butt-straps*) des Airbus A400M, Teile des Kargoboden (*engl. bulk cargo floor*) einiger Modelle der Boeing Company sowie die vordere Schottwand (*engl. forward bulkhead*) des Learjets 45 von Bombardier Aerospace





# Stand der Technik zum Thema des Fertigungsprozesses

## Manueller Prozess in der Serienfertigung

- Manuell geprägte Prozesskette zur Herstellung von FML-Panel
  - Zuschneiden und Vorbereiten der FML-Lagen / -Laminat
  - Manuelles Ablegen von Glasfaser-Prepreg und Aluminium
  - Manuelles Ablegen des Klebefilms
  - Manuelle Integration von Dopplern und Stringern
  - Manueller Vakuumaufbau
- Qualitätskontrolle nach jedem Prozessschritt
  - Aufwändige bis gar keine QS innerhalb der Prozesskette
  - Auswertung der QS manuell / visuell
- Potential der aktuellen manuellen Fertigungskette
  - 200m<sup>2</sup> im Monat

Airbus A380 (aktuell)



**Für eine hohe Fertigungsrate bedarf es eines automatisierten Prozessablaufs!**

Oberflächenschutz

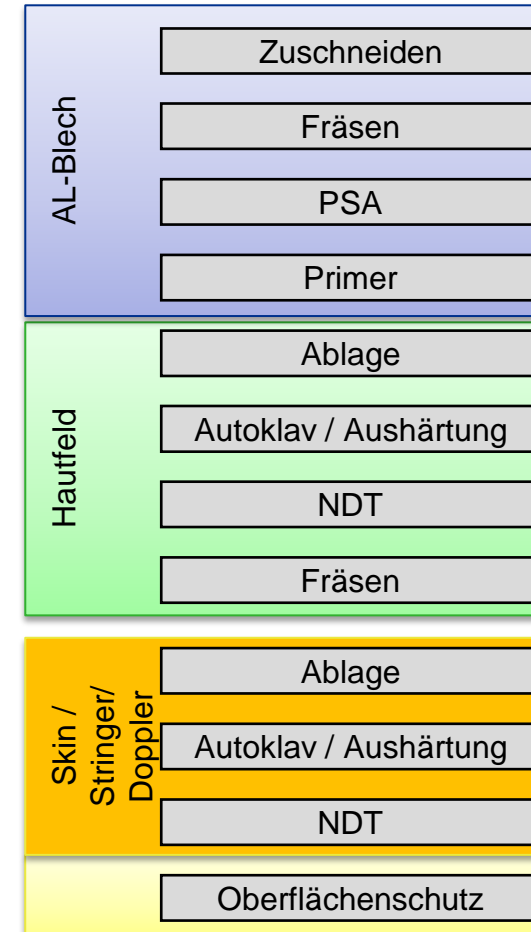
# Automatisierte und qualitätsgesicherte Fertigungsprozesse

## Ziele und Konzepte

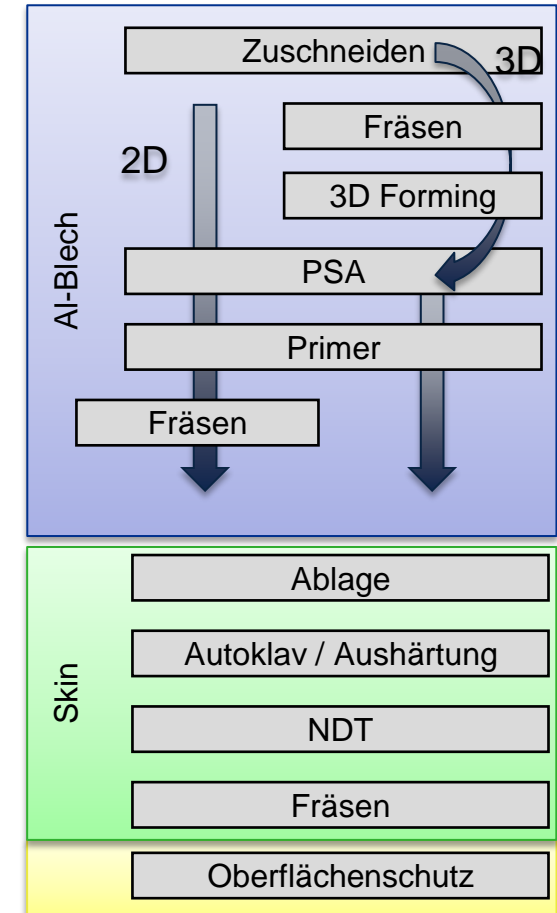
**Ziel: Automatisierte Fertigungskette mit effektiver QS-Auswertung zur Reduzierung der Fertigungskosten**

- Neue Prozess-Kette:
  - One-Shot-Bonding (OSB)
- Automatisierte Ablage:
  - Aluminiumbleche, Glasprepreg, Klebfilm
- Neues NDT-Verfahren:
  - Phased-Array-Technologie
- Automatisierte Qualitätssicherung im Prozess

**Airbus A380 (aktuell)**



**2D + 3D Baseline Prozess**





# Standorte und Testzellen

## Festsetzung der Baseline- und Opportunity-Konzepte

- **Premium Aerotec Nordenham– TZN Anlage**
  - Pick&Place Aluminiumbleche (t von 0,3mm und 0,4mm)
  - Pick&Place von Glasfaserprepregs (b von 460mm)
  - Klebfilmablage (b von 25mm)
  - Pick&Place Al-Stringer
- **DLR Stade – Forschungsplattform GroFi und B.A.L.U.**
  - Einsatz der Fibreplacementtechnologie für Glasprepreg
    - ATL – Automated Tape Laying (b von 150mm)
    - AFP – Automated Fibreplacement (b von 100mm)
  - Aushärtungsprozess
  - Inline QS
- **DLR Augsburg – Forschungsplattform MFZ**
  - Multirobot Pick&Place-Technologie für Aluminiumbleche
  - Inline QS



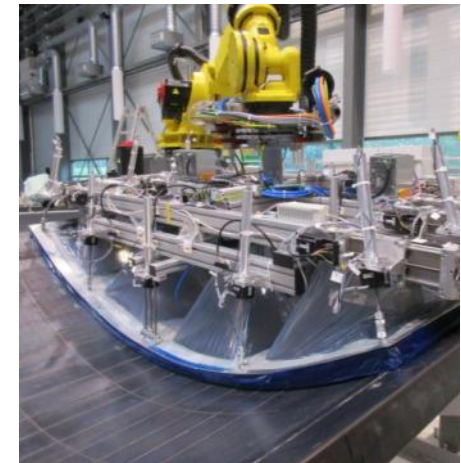
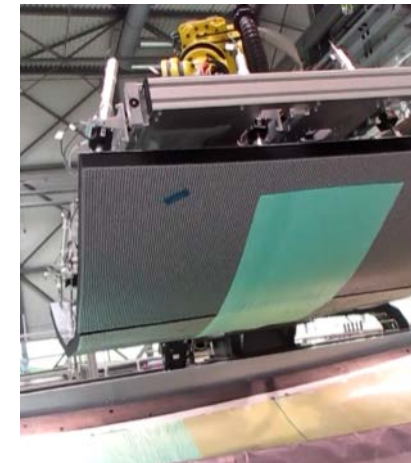
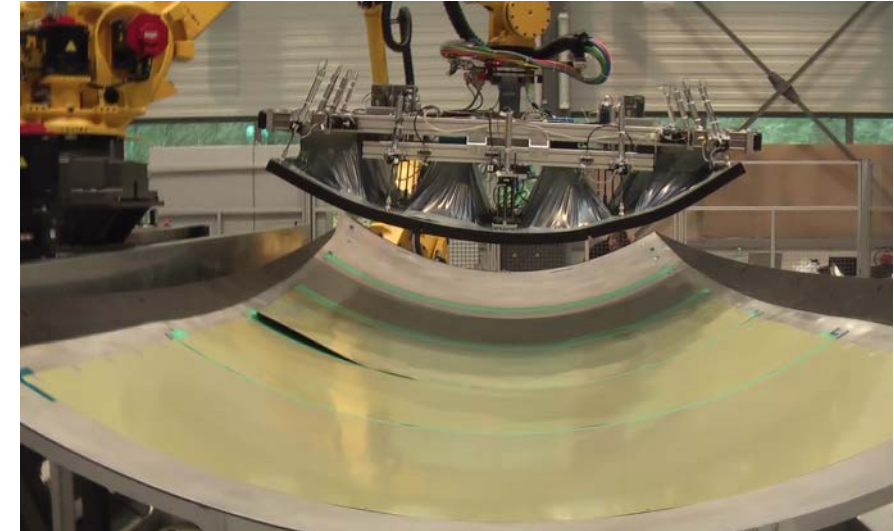
# Baseline-Konzept (TZN Anlage in Nordenham) Pick&Place-Endeffektor für Aluminiumfolien und 90° Glasprepreg

- **Ziele:**

- Endeffektor kann Aluminiumbleche und 90° Glasprepreglagen per Pick&Place-Technologie ablegen
- Vollautomatisierter Prozess

- **Status:**

- Endeffektor mit 28 Achsen für flexible Formgebung
- Integriertes Greifersystem für vollflächiges Greifen
- Automatisierte Position- und Formkontrolle
- Dimension: ca. 1,6m x 2,0m





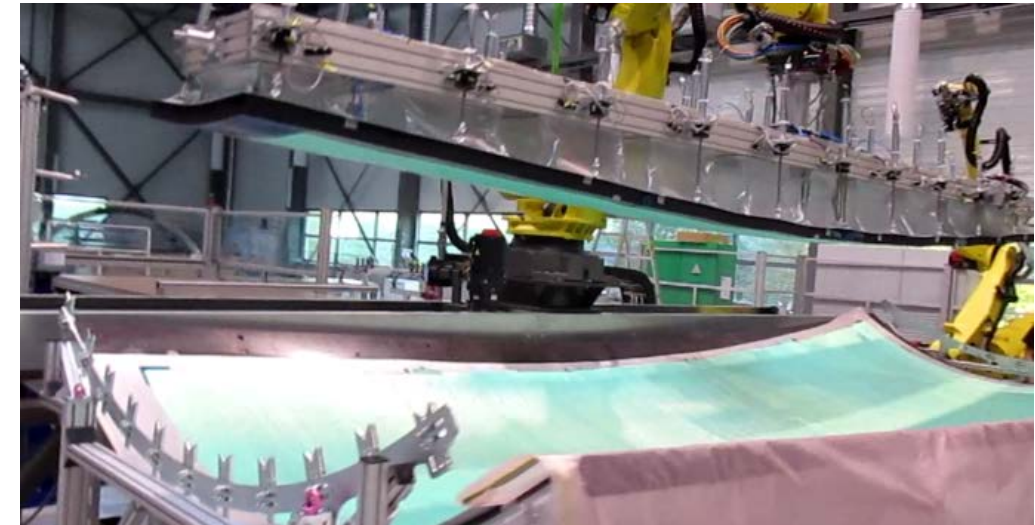
# Baseline-Konzept (TZN Anlage in Nordenham) Pick&Place-Endeffektor für 0° Glasprepreg

- **Ziele:**

- Endeffektor kann 0° Glasprepreglagen per Pick&Place-Technologie ablegen
- Vollautomatisierter Prozess

- **Status:**

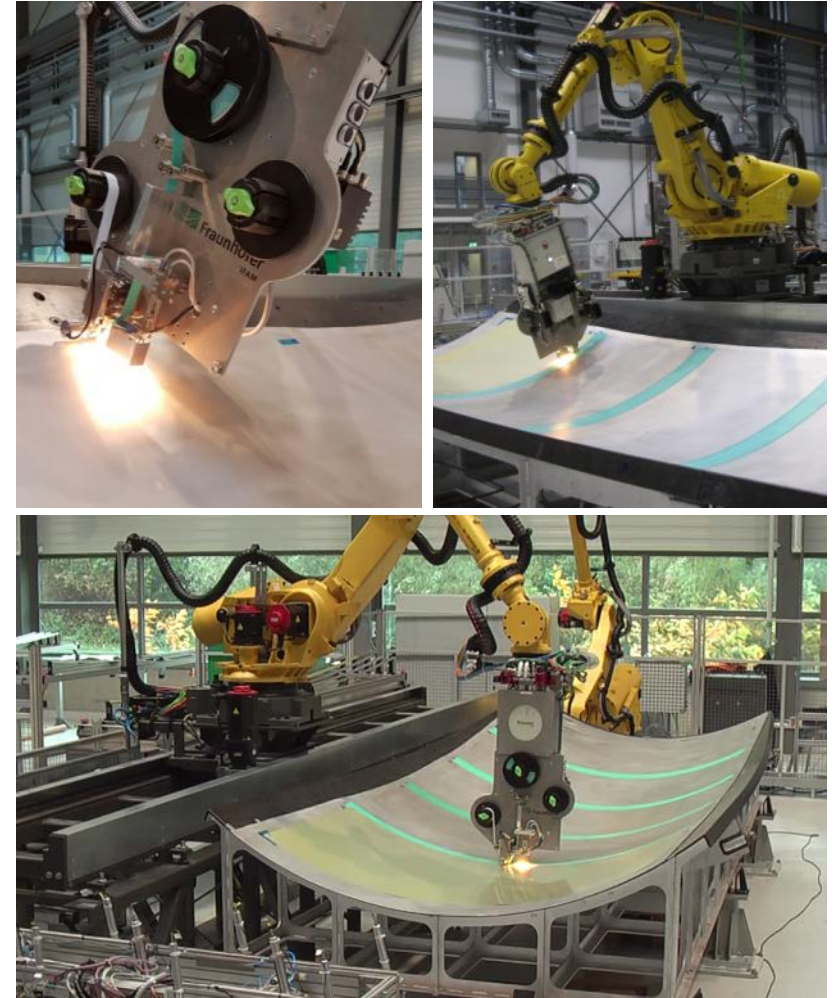
- Endeffektor mit 32 Achsen für flexible Formgebung
- Integriertes Greifersystem für vollflächiges Greifen
- Automatisierte Position- und Formkontrolle
- Integrierte Heizelemente
- Dimension: ca. 0,65m x 6,4m





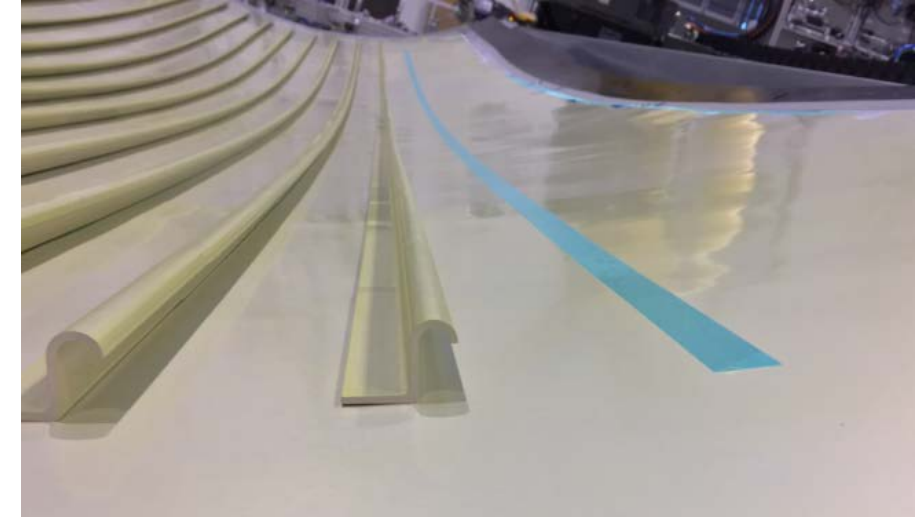
# Baseline-Konzept (TZN Anlage in Nordenham) Automatisierter Klebfilmauftrag

- **Ziele:**
  - Automatisierte Klebfilmauftrag in 3D-Konturen auf unterschiedliche Substrate (Aluminiumblech, Glasprepeg)
- **Status:**
  - Tackkontrolle durch Infrarotbeheizung
  - Aktive Förderung durch Drehmomentkontrolle
  - Integrierte QS für Pfadkontrolle
  - On-the-fly cutting des Klebfilms



# Baseline-Konzept (TZN Anlage in Nordenham) Demonstratorbau – TRL4 Demonstration

- **FML- Panel #1 to #4:**
  - Fokus auf Automatikmodus
  - Kugelgestrahlte Aluminiumbleche (3D)
- **FML - Panel #5:**
  - Fokus auf Längessplice mit streckgezogenen Alublechen (3D)
  - Test Automatikmodus
- **FML Panel #6:**
  - Fokus auf 2,5D-Ablage (2D Aluminiumbleche)
  - Automatikmodus
- **FML Panel #7:**
  - Fokus auf neuen T-Splice-Design
  - Schneller Automatikmodus





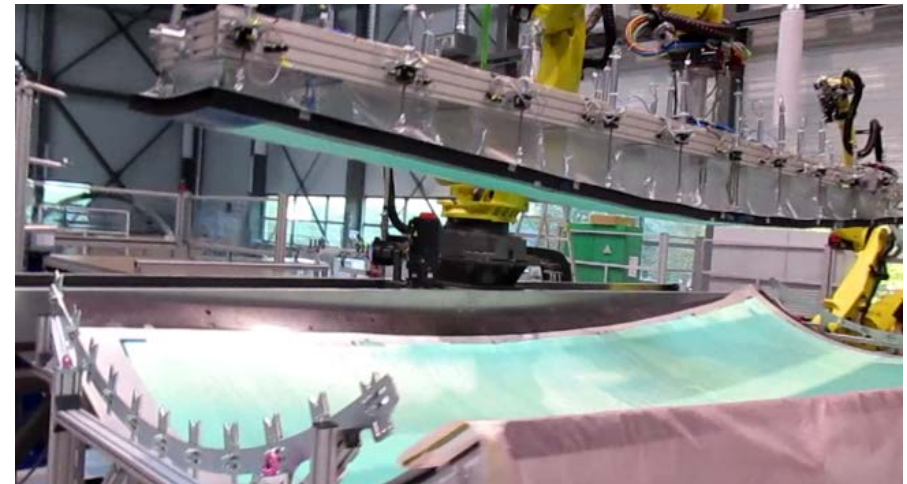
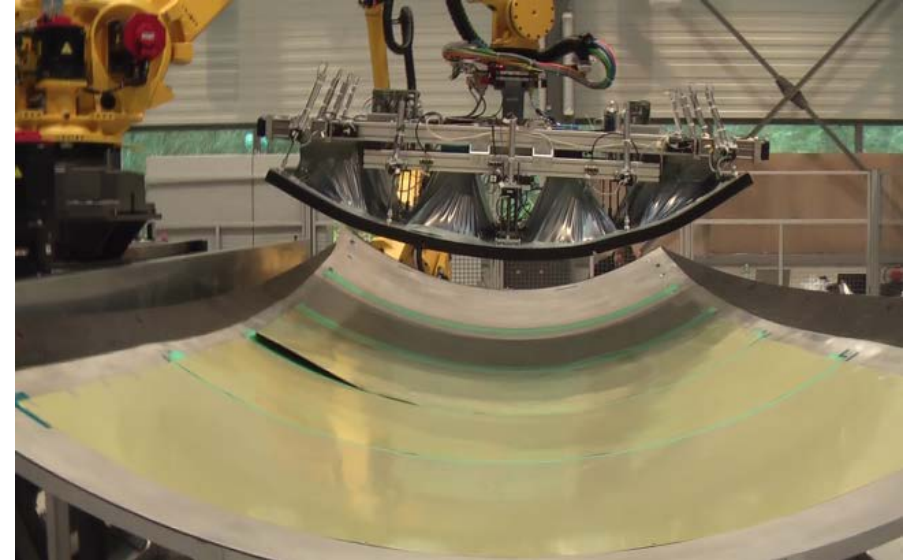
# Baseline-Konzept (TZN Anlage in Nordenham) Ergebnisse Demonstratorbau

## Aluminiumblech Pick&Place:

- Aktuelle Prozesszeit in der Testzelle:
  - 110 sec / Zyklus
  - Reduzierte Geschwindigkeit (Testmodus)
- Potential in der Serienfertigung:
  - 59 sec / Zyklus
  - Schnellere Schrittmotoren am Endeffektor

## Glaspreg-Pick&Place:

- Aktuelle Prozesszeit in der Testzelle
  - 130 sec / Zyklus
  - Reduzierte Geschwindigkeit (Testmodus)
- Potential in der Serienfertigung:
  - 61 sec / Zyklus
  - Schnellere Schrittmotoren am Endeffektor





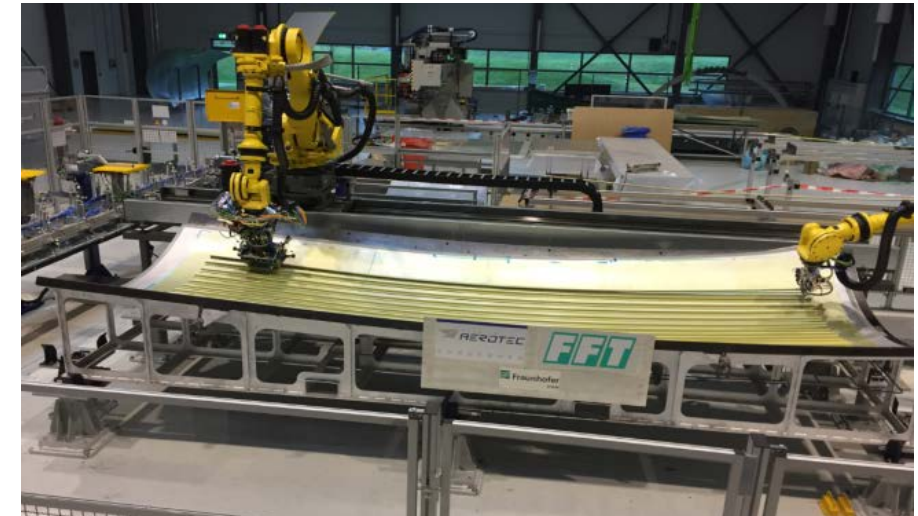
# Baseline-Konzept (TZN Anlage in Nordenham) Ergebnisse Demonstratorbau

## Adhesive-film Lay-Up:

- Aktuelle Prozesszeit in der Testzelle :
  - 4,5 m/min (Testmodus)
  - Genauigkeit: +/- 1,5mm
  - gap: -1mm / +1,5mm
- Potential in der Serienfertigung:
  - 13 m/min
  - Genauigkeit : +/- 1,0mm
  - gap: -0,5mm / +1,0mm

## Stringer-Integration:

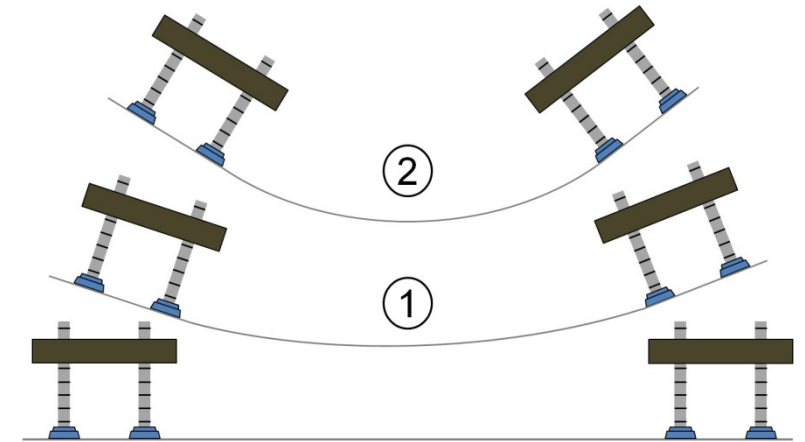
- Aktuelle Prozesszeit in der Testzelle :
  - 111 s/m (Tesmodus)
  - Genauigkeit : +/- 2,0mm
- Potential in der Serienfertigung:
  - 30 s/m (max speed: 12m/min)
  - Genauigkeit : +/- 0,5mm



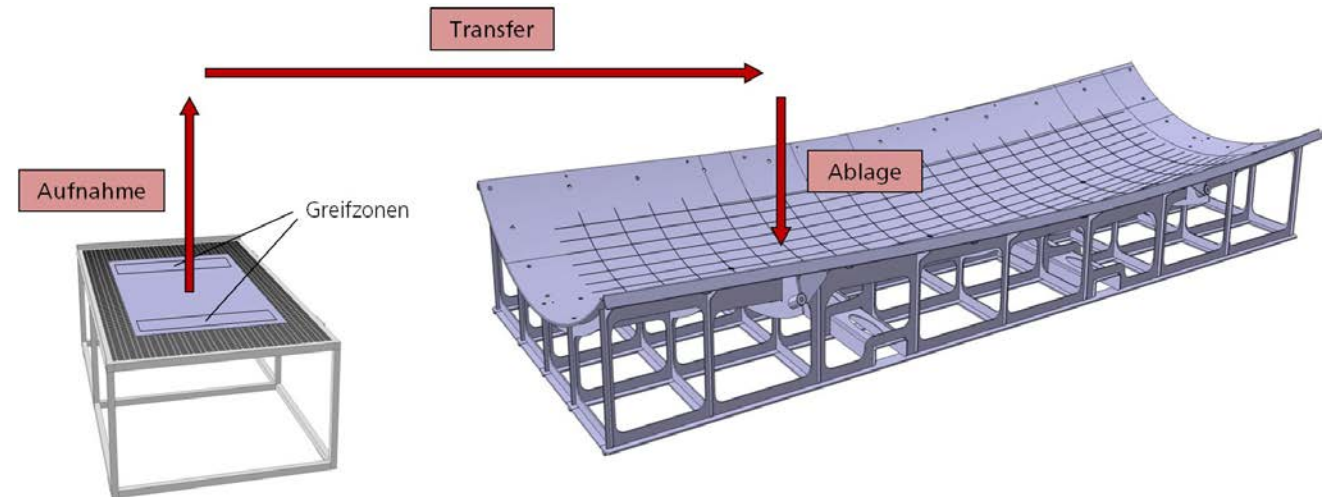
# Oppurtunity-Konzept (MFZ Anlage in Augsburg) Multi-Robot Pick&Place Aluminiumbleche (2D)

- **Strategie:**

- Aufnahme mit gerader Greiferkonfiguration
- Transfer mit angenäherte Seilkurve



Schematische Darstellung d. Greiferpositionen beim Transport



Transportstrategie

# Oppurtunity-Konzept (MFZ Anlage in Augsburg) Multi-Robot Pick&Place Aluminiumbleche (2D)

- **Strategie:**

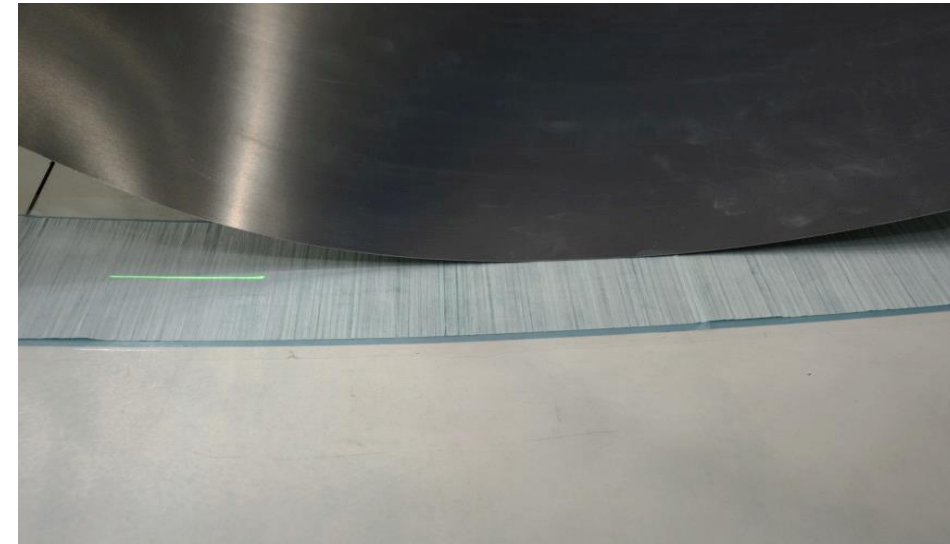
- Ablage vom Scheitelpunkt rollend nach außen

- **Ergebnis:**

- Handhabung d. Folien sicher möglich
- Wiederholgenauigkeit ~2 mm
- Untere Lagen werden nicht beeinträchtigt

- **Herausforderungen:**

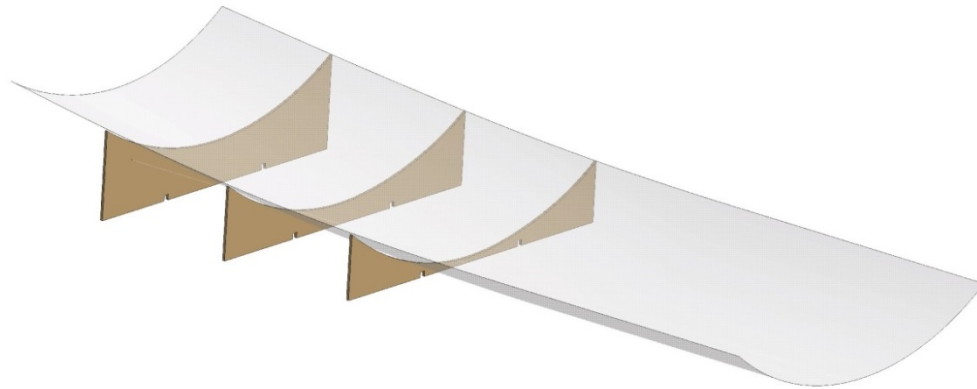
- Oberflächenverhalten irreführend da Material ohne Primer verwendet wurde
- Konstruktion d. Greifer bietet noch Verbesserungspotential





# Oppurtunity-Konzept (MFZ Anlage in Augsburg) Multi-Robot Pick&Place Aluminiumbleche (3D)

- **Randbedingungen:**
  - Zielkontur Holzform mit streckgezogenem Alu-Blech als Oberfläche
  - Versuchsmaterial 3D Folie ca. 6 x 1 m
- **Strategie:**
  - Aufnahme mit vorgekrümmter Greiferkonfiguration

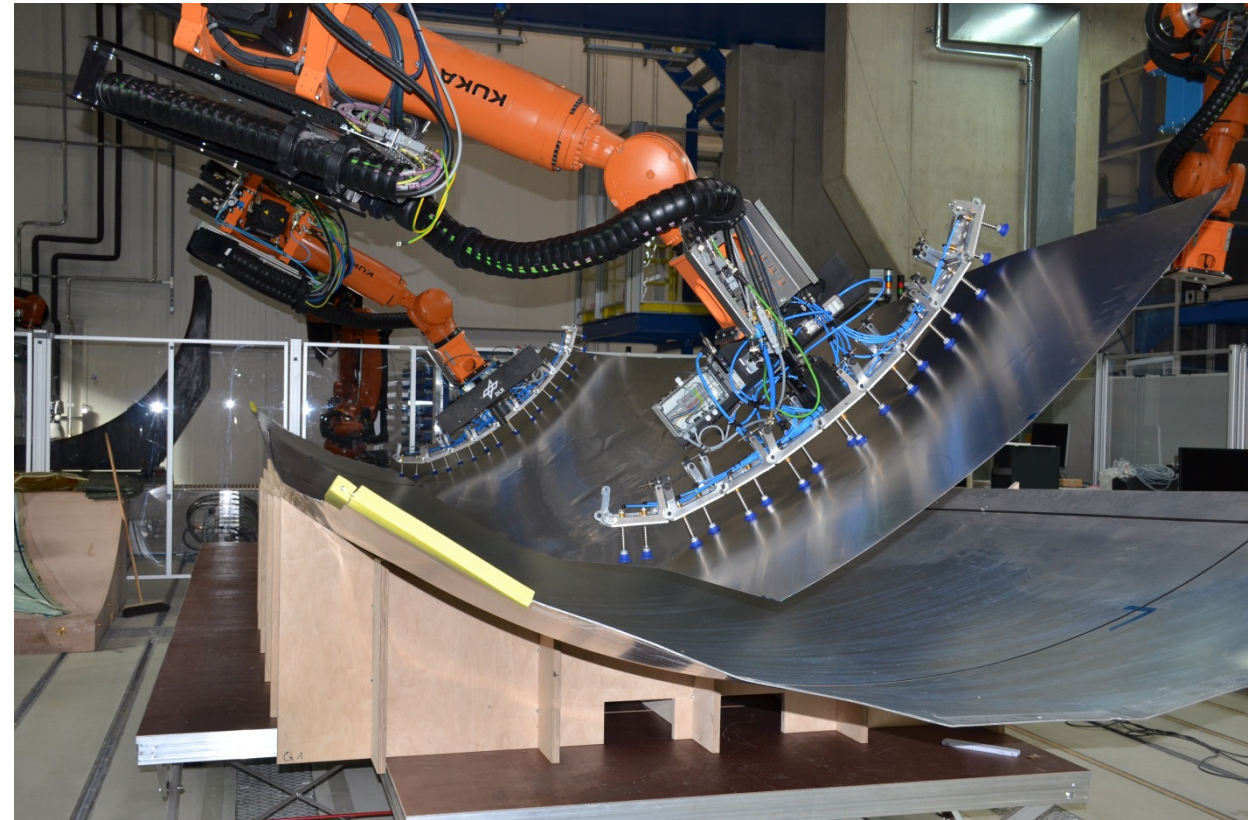


Konstruktion d. Stützelemente für Aufnahmetisch 3D Blech



# Oppurtunity-Konzept (MFZ Anlage in Augsburg) Multi-Robot Pick&Place Aluminiumbleche (3D)

- **Strategie:**
  - Transfer bei konstantem Abstand d. Greifer
  - Ablage von einem Ende rollend zum anderen
- **Ergebnis:**
  - Folie lässt sich beschädigungsfrei handhaben
  - Wiederholgenauigkeit d. Ablage ~2-5 mm
- [Video 2D](#)
- [Video 3D](#)





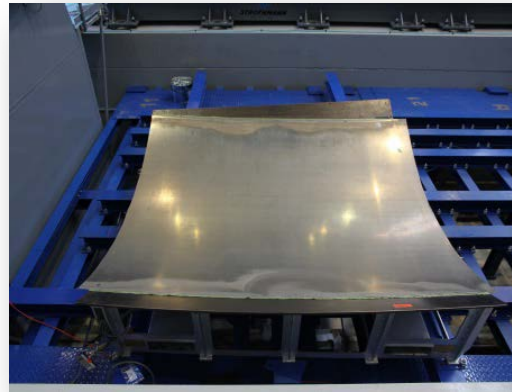
# Opportunity-Konzept (GroFi-Anlage in Stade)

## Automatisierte Ablage von Glasprepreg / Überblick ATL - AFP

**2D Ablage**  
(ebene Platte)



**3D Ablage**  
(2m x 2m doppeltgekrümmt)



**TRL Demonstrator**  
(2m x 6m doppelgekrümmt)



**ATL**

**2D Ablage**  
(ebene Platte)

**3D Ablage**  
(2m x 2m doppeltgekrümmt)

**TRL Demonstrator**  
(2m x 6m doppelgekrümmt)

**AFP**





# Opportunity-Konzept (GroFi-Anlage in Stade)

## ATL Technologie – 2D Ablage – Ebene Platte – Analyse Materialverhalten

### Eingesetzte Materialien

- Glasprepreg mit einer Breite von 150 mm
- Aluminiumbleche mit einer Dicke von 0,4 mm (ohne Primerauftrag)

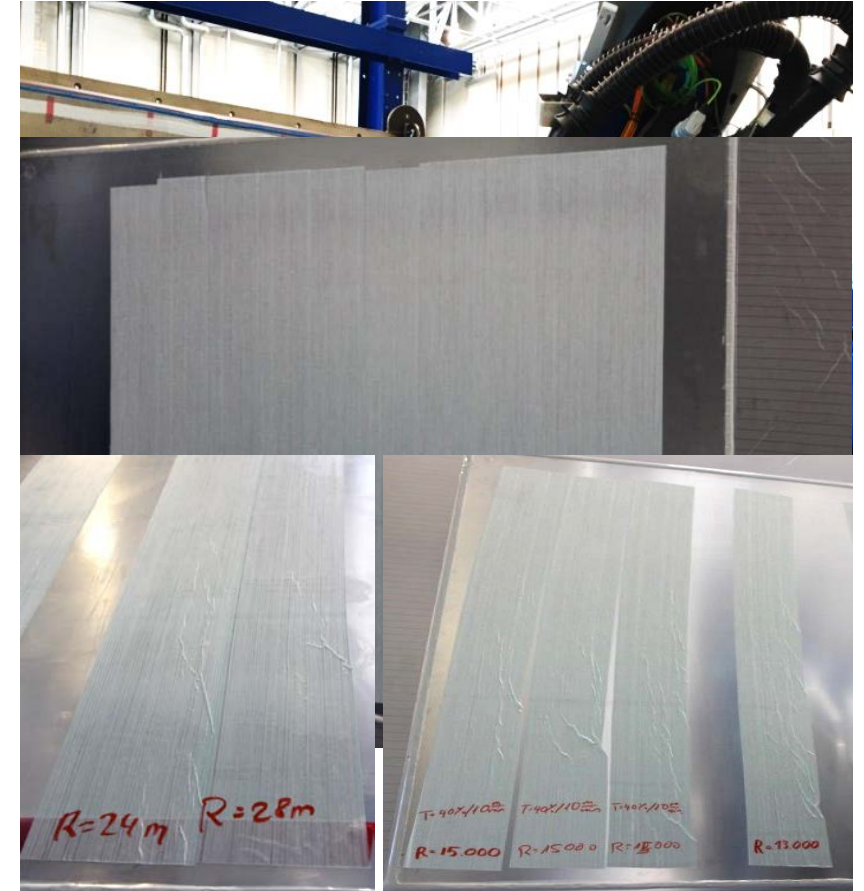
### Ergebnisse 2D – Glasprepreg auf Aluminium / Glasprepreg

- Erwärmung mit Infrarotstrahler bei Ablage erhöht den Tack ( $< 50^{\circ}\text{C}$ )
- Kompaktierungsdruck von ca. 1.200 N
- Schnittgeschwindigkeit = 10 m/min (US-Messer)
- Ablagegeschwindigkeit von 12m/min bei Courselänge von 1m

### Steering-Analyse

- Ziel: Radius 12m (R12) für CoFul<sup>2</sup>-Tool (TRL-Demonstrator)
- Faltenbildung bereits R28 / 24

✓ Analyse der Prozessparameter abgeschlossen !



# Oppurtunity-Konzept (GroFi-Anlage in Stade) ATL Technologie – 3D Ablage – TRL4 Demonstrator

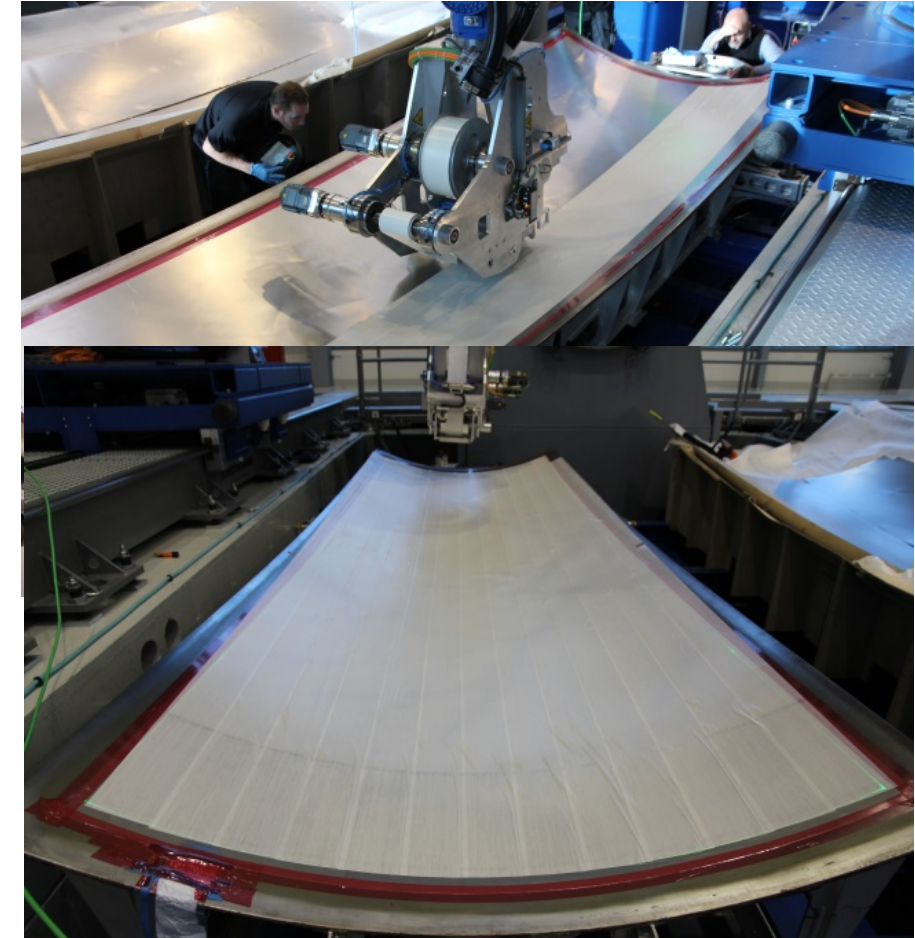
## Eingesetzte Materialien und Laminataufbau

- Werkzeug: CoFul2 – Doppelgelrümmt – 2m x 6m
- Glasprepreg mit einer Breite von 150 mm
- Aluminiumbleche mit einer Dicke von 0,4 mm (o Primer, 3D)
- Laminataufbau 3/2

## Ergebnisse der TRL4 Demonstration

- Automatisierte Ablage des Glasprepregs (150mm) erfolgreich
- Keine Probleme beim Schneiden des Glasprepregs
- Overlaps korrelieren mit der Offline-Simulation
  - Kein Steering erlaubt
  - Gemessene overlaps bei 0° Lagen  $12 \pm 1\text{mm}$  (Sim. 12,1 mm)
  - Gemessene overlaps bei 90° Lagen  $2 \pm 1\text{mm}$  (Sim. 2,2 mm)

- [Video](#)





# Opportunity-Konzept (GroFi-Anlage in Stade) AFP Technologie – 2D Ablage – Ebene Platte

## Eingesetzte Materialien

- Glasprepreg 4 x ¼" (6,35 mm) breite Tows
- Aluminiumblech 0,4 mm dick (o Primer)

## Ergebnisse der AFP-Demonstration

- Beheizung wichtig für den Tack am Anfang der Ablage (<50°C)
- Kompaktierungsdruck im ähnlichen Bereich wie ATL
- Schnittgeschwindigkeit = 10 m/min (US-Messer)
- Ablegegeschwindigkeit von 10m/min bei einer Bahnlänge von 1m

## Steering-Analyse

- Ziel: Radius 12m (R12) für CoFul<sup>2</sup>-Tool (TRL-Demonstrator)
- Getestete Radien: R16, R12, R8, R6, R4, R2
- Gutes Steeringverhalten bis R6



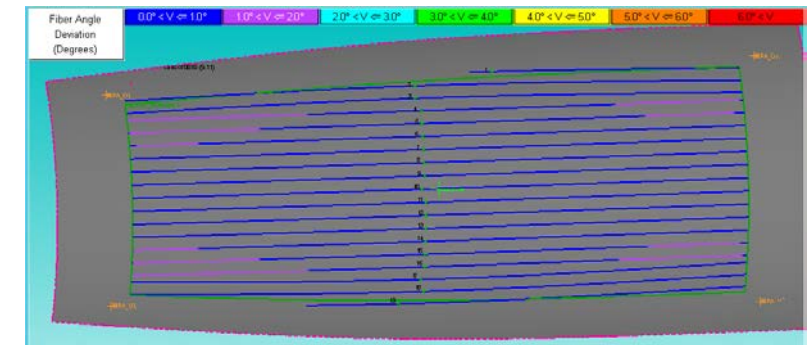
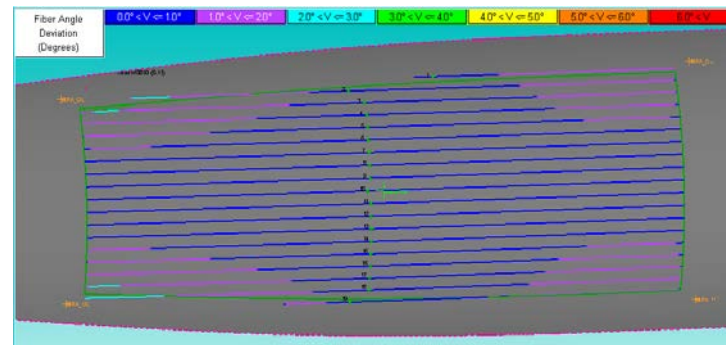
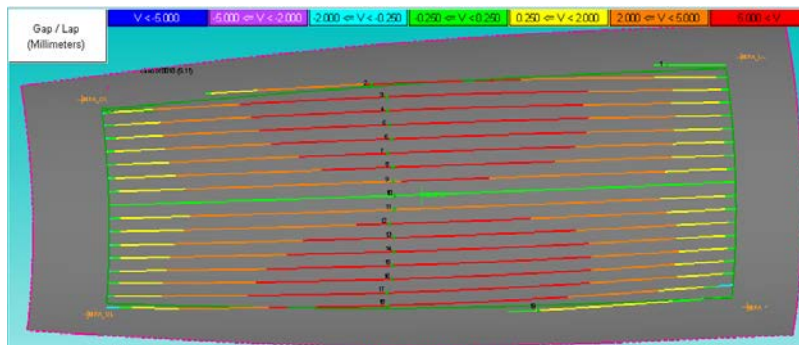


# Opportunity-Konzept (GroFi-Anlage in Stade)

## AFP Technologie – TRL4-Demonstratorbau

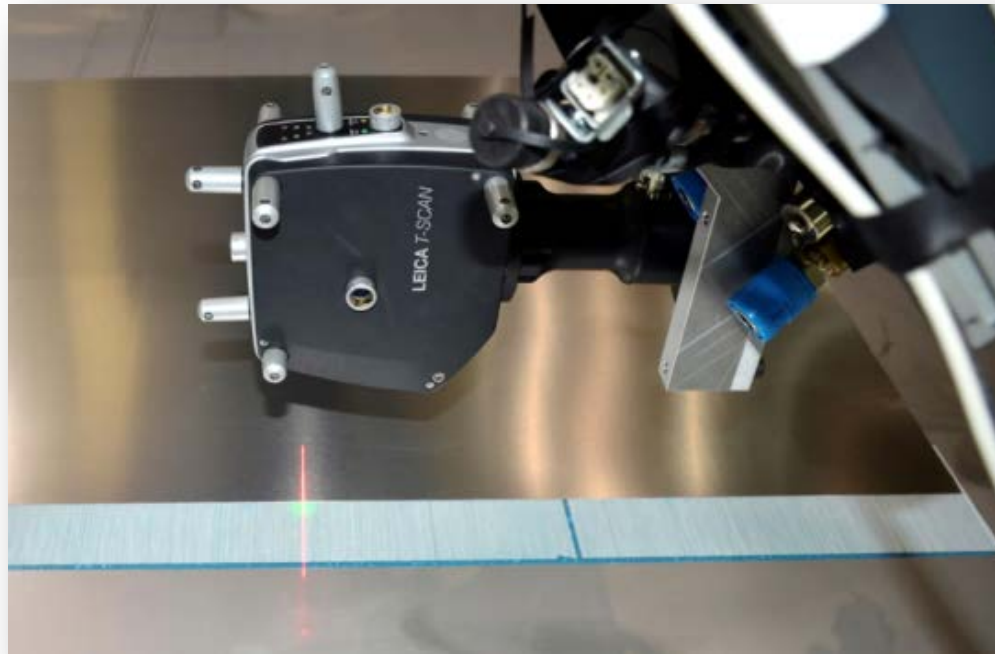
### AFP-Technologie

- Weiterführung der Arbeiten bis zum AFP TRL4-Demonstrator im Oktober /November 2017
- Herausforderungen bei der AFP-Ablegestrategie
  - Ohne Gap / Overlap ablegen
  - Ohne Faserwinkelabweichung ablegen
  - Entweder-Oder-Beziehung
- Ergebniserzeugung durch OfflineSimulationen



# Opportunity-Konzepte (Stade und Augsburg)

## Inline QS entlang der Prozesskette - Aluminiumablage



### Ziel:

Überprüfung der positionsgenauen Ablage von Aluminiumfolien während des FML-Lagenaufbaus

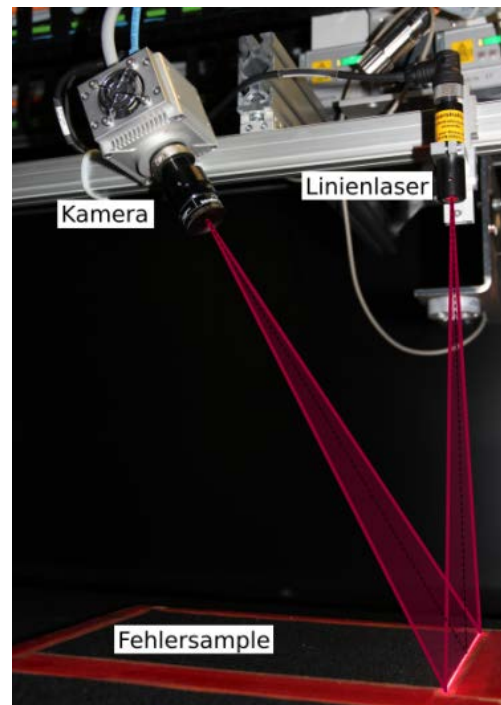
### Lösungsansatz:

TScan5 (Laserlichtschnittsensor; am Roboter montiert) und Leica Laser-Tracker



# Opportunity-Konzepte (Stade und Augsburg)

## Inline QS entlang der Prozesskette – Glasfaserablage ATL / AFP

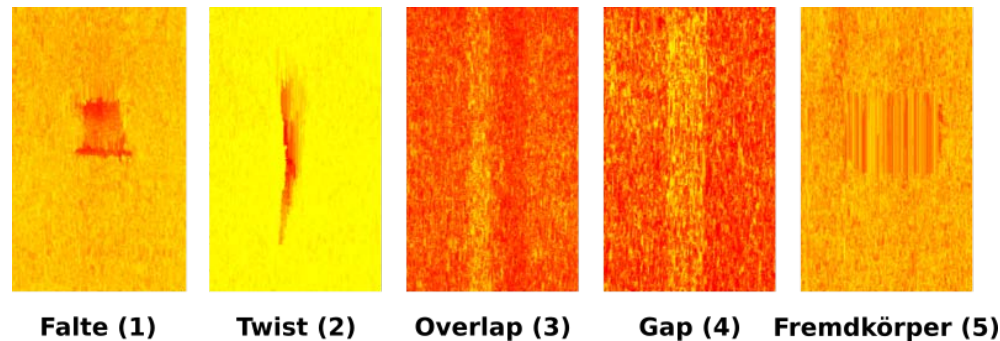


### Ziel:

Automatisiertes Erkennen und Klassifizieren von Fehlern während des Ablegeprozesses

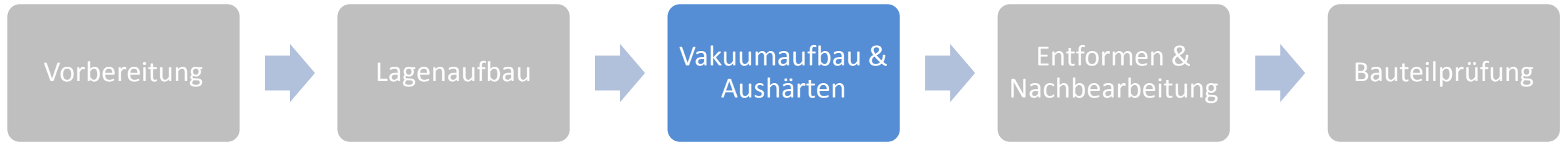
### Lösungsansatz:

Linienlaser und optische Kamera



# Opportunity-Konzepte (Stade und Augsburg)

## Inline QS entlang der Prozesskette – Leckageerkennung bei Vakuumaufbauten

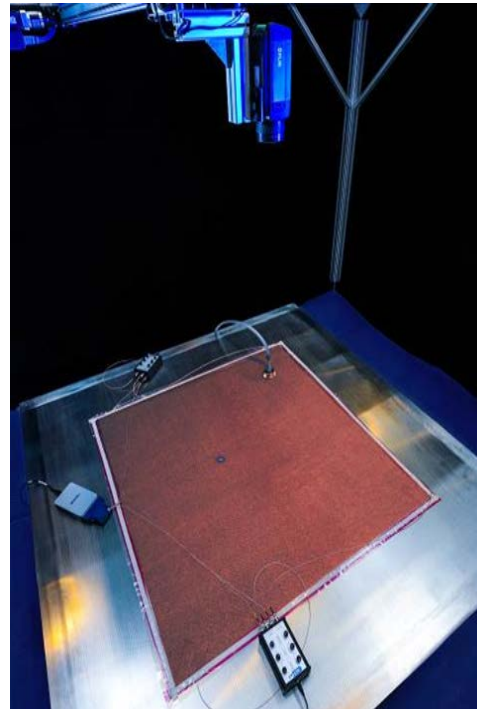


### Motivation:

Undichtigkeiten in Vakuumaufbauten von FML Bauteilen können zu Qualitätsproblemen führen

### Lösungsansatz:

Leckagen schnell erkennen und beheben





# Opportunity-Konzepte (Stade und Augsburg)

## Inline QS entlang der Prozesskette – Detektion Aushärtungsprozess im AKL



**Motivation:**  
Kostenintensive AKL-Zyklen

**Lösungsansatz:**  
Zykluszeit auf ein Minimum kürzen!



# Zusammenfassung und Ausblick

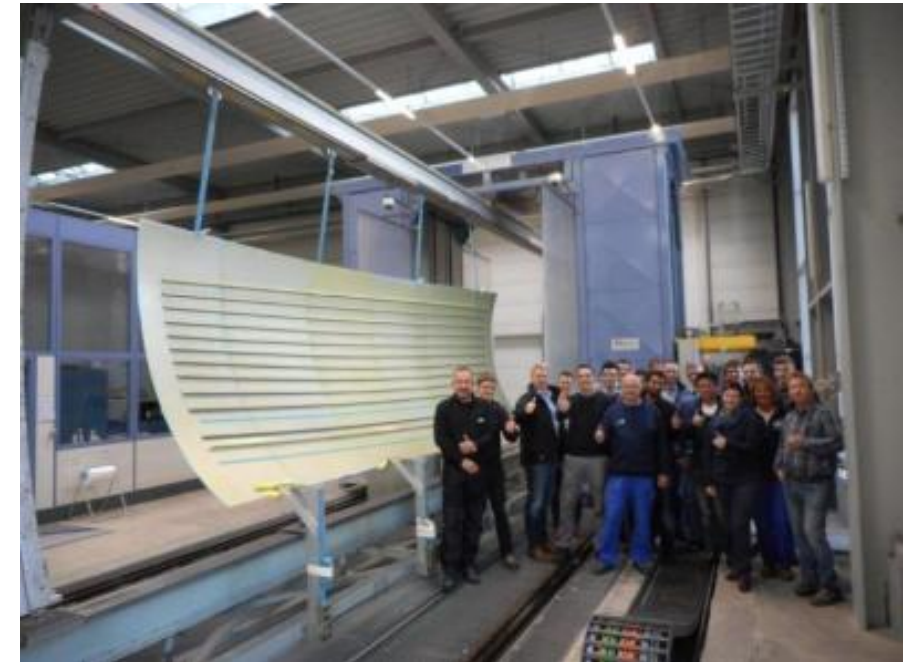
## Baseline und Opportunity-Konzepte

- **Zusammenfassung:**

- Automatisierungspotential konnte gezeigt werden
  - Vorstellung der Ergebnisse bzgl. des Baseline-Konzeptes
    - (TZN Anlage Nordenham)
  - Vorstellung der Ergebnisse bzgl. des Opportunity-Konzeptes
    - Grofi-Anlage in Stade
    - MFZ-Anlage in Augsburg
- Integration von Inline-QS entlang der gesamten Prozesskette

- **Ausblick:**

- Fortführung der Arbeiten an den Forschungseinrichtungen





**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!**

